

FITORREMEDIACIÓN: MEJORAMIENTO DE CALIDAD HÍDRICA

PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO EN EL SECTOR 1 DEL PARQUE ECOLOGICO DISTRITAL DE HUMEDAL EL BURRO, BOGOTA D.C.

PROPOSAL FOR THE IMPROVEMENT OF THE WATER RESOURCE IN SECTOR 1 OF THE DISTRICT ECOLOGICAL PARK OF WETLAND EL BURRO, BOGOTA D.C.

Sandra Catalina Igua Cortés
Ingeniera ambiental
Bogota D.C, Colombia.
Catalinaigua_12@hotmail.com

Artículo de Investigación

DIRECTOR

Ph.D. Ximena Lucía Pedraza Nájar

Doctora en Administración – Universidad de Celaya (México)
Magíster en Calidad y Gestión Integral – Universidad Santo Tomás e Icontec
Especialista en gestión de la producción, la calidad y la tecnología - Universidad Politécnica
de Madrid (España)
Especialista en gerencia de procesos, calidad e innovación – Universidad EAN (Bogotá D.C.)
Microbióloga Industrial – Pontifica Universidad Javeriana
Auditor de certificación: sistemas de gestión y de producto

Gestora Especialización en Gerencia de la Calidad - Universidad Militar Nueva Granada
ximena.pedraza@unimilitar.edu.co; gerencia.calidad@unimilitar.edu.co



La U
acreditada
para todos

**ESPECIALIZACIÓN EN PLANEACIÓN AMBIENTAL Y MANEJO DE RECURSOS
NATURALES
UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
JUNIO DE 2020**

PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO EN EL SECTOR 1 DEL PARQUE ECOLÓGICO DISTRITAL DE HUMEDAL EL BURRO, BOGOTÁ D.C.

PROPOSAL FOR THE IMPROVEMENT OF THE WATER RESOURCE IN SECTOR 1 OF THE DISTRICT ECOLOGICAL PARK OF WETLAND EL BURRO, BOGOTÁ D.C.

Sandra Catalina Igua Cortés
Ingeniera ambiental
Bogotá D.C., Colombia.
Catalinaigua_12@hotmail.com

RESUMEN

Los humedales son ecosistemas acuáticos, fundamentales para el almacenamiento del recurso hídrico y el albergue de especies endémicas, nativas y migratorias de flora y fauna. Sin embargo, el crecimiento urbano, junto con una inadecuada planeación ambiental los ha puesto bajo un contexto degenerativo; donde además de la reducción de su área natural, la contaminación del recurso hídrico ha sido uno de los factores con mayor afectación. Por tal motivo, el presente documento expone una revisión bibliográfica de carácter descriptivo, para el planteamiento de una alternativa económica, eficaz y sostenible que permita mejorar la calidad del recurso hídrico en el sector 1 del Parque Ecológico Distrital de Humedal (PEDH) EL Burro, ubicado en la localidad de Kennedy, Bogotá D.C. Para ello se plasma una alternativa basada en una configuración de macrófitas, que conforman un filtro verde de flujo superficial, basado en plantas acuáticas enraizadas emergentes que emplean procesos de fitorremediación eficientes, como la rizodegradación y la fitodegradación.

Palabras clave: humedales, filtro verde, fitorremediación, macrofitas, PEDH El Burro.

ABSTRACT

Wetlands are aquatic ecosystems, essential for water resource storage and the shelter of endemic, native and migratory species of flora and fauna. However, urban growth, along with inadequate environmental planning has placed them under a degenerative context; where in addition to the reduction of their natural area, water resource pollution has been one of the factors most affected. For this reason, this document presents a descriptive bibliographic review, which analyzes government documents, scientific articles, books, magazines, national and international reports, for the proposal of an economic, effective and sustainable alternative that allows the identification of the type of aquatic vegetation present within the water body and its biological characteristics, to improve the quality of the water resource in sector 1 of the District Wetland

FITORREMEDIACIÓN: MEJORAMIENTO DE CALIDAD HÍDRICA

Ecological Park (DWEP) El Burro, located in the town of Kennedy, Bogotá D.C. To do so, an alternative is implemented based on a configuration of macrophytes, which form a green filter of surface flow, based on emerging rooted aquatic plants that employ efficient phyto-mediation processes, such as rhizodegradation and phyto-degradation.

Keywords: wetlands, green filter, phytoremediation, macrophytes DWEP El Burro.

INTRODUCCIÓN

El concepto de humedal varía de acuerdo al tipo de disciplina o rama del conocimiento que aborde este tipo de ecosistemas (Ricaurte et al., 2015). Sin embargo, diferentes autores logran definirlo como áreas de transición entre el ecosistema terrestre y el acuático, que se inunda permanente o temporalmente de forma poco profunda, donde la capa freática aflora o cubre parcialmente suelos insuficientemente permeables. La saturación de agua determina el tipo de humedal (lenticos o loticos) y las comunidades vegetales y animales asociadas a ellos (Guillot, 2017; Ramsar, 2013; Roldan, 2008; DAMA, 2006; Herrera, 2004).

Su importancia radica en los múltiples servicios ecosistémicos que presta, donde se destacan la alta productividad (primaria y secundaria), el albergue de flora y fauna y el almacenamiento del recurso hídrico, gracias a las condiciones ecológicas, geomorfológicas, hidráulicas e hidrológicas con las que cuentan (Ramsar, 2004; Cortés, 2017). De igual modo, tal como lo señala Santiago, 2012 este tipo de ecosistemas trascienden una relación socio-cultural, pues permite entrever un vínculo histórico entre el medio y las comunidades aledañas a él.

Dentro de la ciudad de Bogotá es posible encontrar un complejo de humedales que hacen parte de la Estructura Ecológica Principal del distrito, de los cuales 11 son reconocidos como Parques Ecológicos Distritales de Humedal (PEDH), pertenecientes a la convención mundial Ramsar, convirtiendo a la capital colombiana en la única ciudad Latinoamericana con

FITORREMEDIACIÓN: MEJORAMIENTO DE CALIDAD HÍDRICA

ecosistemas de esta categoría, dentro de su perímetro urbano (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018). Pese a ello, Cruz-Solano & Motta-Morales (2017) identifican desde la década de los 50 un cambiado en su uso del suelo, que ha sido transformado de áreas de conservación a áreas urbanizables, debido a la migración poblacional de la zona rural a la ciudad. Lo que conlleva a una reducción del límite legal y a la desecación del espejo de agua con el que cuentan este tipo de espacios naturales. Tal incremento poblacional, trae consigo la conformación de los denominados barrios de invasión, construidos principalmente en las periferias de la ciudad (Torres, Rincon y Vargas, 2007) donde se originan las múltiples quebradas y ríos que abastecen la red hídrica de la capital y a la cual se adapta de manera provisional e ilegal (como único servicio de alcantarillado) un complejo sistema de conexiones erradas que permiten el ingreso de aguas residuales a los PEDH. A esta problemática se vincula la recepción de residuos sólidos ordinarios (RSO), líquidos e industriales, generada a partir de la inadecuada gestión y disposición final de los mismos.

Es así como se desencadena un conjunto de sucesos que permiten la transformación de la calidad del recurso hídrico, afluente a los humedales de la planicie bogotana. Generando una alteración en los factores físicos, químicos, biológicos y morfológicos del ecosistema, al producirse en él un arrastre y acumulación de sedimentos, incremento de la materia orgánica disuelta y la concentración de nutrientes.

La problemática anteriormente descrita no es ajena a la condición actual que se presenta dentro del cuerpo de agua en el sector 1 del PEDH El Burro, pues tal como lo plantea el correspondiente Plan de Manejo Ambiental este es uno de los factores que ha contribuido a la pérdida y afectación de gran parte del plano inundable del humedal (Instituto de Estudios Ambientales, 2008). Por consiguiente, surge la necesidad de plantear una alternativa enfocada a

FITORREMEDIACIÓN: MEJORAMIENTO DE CALIDAD HÍDRICA

la optimización de las condiciones hidrológicas de este tramo del PEDH, que involucre además del mantenimiento frecuente, una propuesta orientada al mejoramiento de la calidad de agua en esta área del humedal.

De este modo, mediante una revisión bibliográfica se plantea una alternativa biológica basada en la fitorremediación, para brindar un documento guía que pueda contribuir a largo plazo en la recuperación de las condiciones hídricas en este sector específico del PEDH, brindando a las entidades con injerencia en él, una opción de restauración.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación cuenta con 4 fases metodológicas, descritas a continuación:

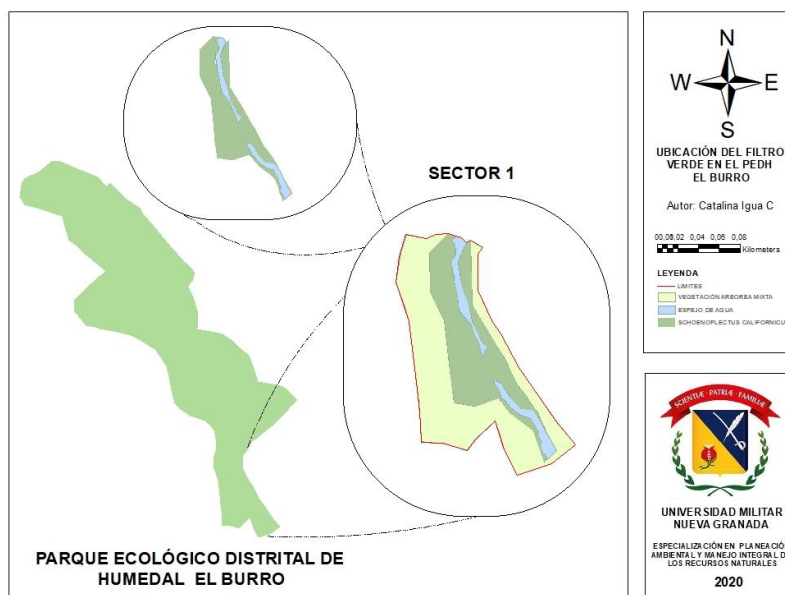
Localización geográfica:

El PEDH El Burro se encuentra ubicado en la zona suroccidental de la ciudad de Bogotá D.C, dentro de la localidad de Kennedy y hace parte de la cuenca Fucha. Así mismo, conforma la Estructura Ecológica Principal del distrito capital, debido a los múltiples servicios ambientales que presta como humedal de planicie, de origen fluvio lacustre. Cuenta con una extensión de 18,8 Ha, fraccionadas por el paso de la Av. Ciudad de Cali y zonificadas en cuatro sectores de acuerdo al Plan de Manejo Ambiental (Instituto de Estudios Ambientales, 2008).

El área seleccionada para el desarrollo de este proyecto se encuentra delimitada en el sector 1 del PEDH El Burro (Imagen 1), pues es la zona en la que ingresa el principal afluente al cuerpo hídrico y resulta ser estratégico para mejorar la calidad de agua del ecosistema. Su delimitación se realiza mediante el registro en campo de puntos cartográficos.

FITORREMEDIACIÓN: MEJORAMIENTO DE CALIDAD HÍDRICA

Imagen 1: Localización del filtro verde en el sector 1 del PEDH El Burro.



Fuente: Autor.

Reconocimiento del área de trabajo:

A fin de establecer los factores que conforman el área donde se propone la intervención, se realiza una identificación y registro de las plantas acuáticas presentes dentro del espejo de agua del sector 1 del PEDH El Burro, mediante reconocimiento en campo, valoración de expertos y comparación el catálogo de plantas invasoras de los humedales de Bogotá.

Revisión documental:

La revisión bibliográfica de tipo descriptiva, se soportó en la búsqueda de documentos técnicos de carácter gubernamental, artículos científicos, libros, revistas, informes nacionales e internacionales y proyectos de investigación de nivel universitario, tanto en castellano como en inglés. A través de ellos, se determinaron las características físicas y químicas del cuerpo del agua ubicado en el sector 1 del PEDH, así como también se identificaron los antecedentes y

FITORREMEDIACIÓN: MEJORAMIENTO DE CALIDAD HÍDRICA

capacidad filtradora de cada una de las macrófitas presentes dentro la franja acuática del humedal. Tal recopilación de información se llevó acabo efectuando una revisión metódica de bases de datos, documentos en físico, repositorios de universidades nacionales y catálogos de búsqueda como Science Direct, Scopus y SciELO Colombia.

La organización de la información y la adecuada referenciación se elaboró empleando el gestor bibliográfico Refworks. En cuanto a la realización de la cartografía correspondiente se implementó el software ArcMap 10.5.

Análisis de la información y planteamiento de la propuesta

Teniendo en cuenta los factores físicos, químicos y morfológicos identificados en la segunda de las etapas anteriormente descritas, se realizó una selección de la información bibliográfica, para así efectuar una posterior valoración de las alternativas de manejo de la vegetación acuática presente en el tramo de interés, adaptadas y/o enfocadas al mejoramiento de la calidad del recurso hídrico.

Fitorremediación:

Proveniente del proceso de remediación, la fitorremediación busca descontaminar suelos, sedimentos, agua y aire mediante el aprovechamiento de la capacidad de absorción, acumulación, metabolización, volatilización o estabilización de ciertas plantas, capaces de remover contaminantes orgánicos, metales pesados, metales radioactivos y compuestos derivados del petróleo (Delgadillo-López et al., 2011).

Dentro de los cuerpos hídricos, la eutrofización se da debido a una alta concentración de nutrientes que favorecen el crecimiento de las plantas acuáticas. Cubriendo los espejos de agua e

FITORREMEDIACIÓN: MEJORAMIENTO DE CALIDAD HÍDRICA

inhibiendo el desarrollo de procesos ecológicos, como el intercambio de gaseoso. Lo cual, junto con la materia orgánica acumulada, que se encuentra en proceso de descomposición, reduce los niveles de oxígeno en el medio acuoso y conforma un ambiente anaeróbico. Por lo que es común asociar a este fenómeno con la presencia de macrófitas dentro de los ecosistemas acuáticos, pensando que la mejor opción de manejo es la remoción de dichas plantas; sin embargo desde hace décadas se han evidenciado resultados opuestos, que impulsan la utilización de macrófitas como herramienta fitorremediadora (Gonzales, 2010).

Ventajas: Este proceso presenta múltiples ventajas entre las que se destacan la fácil construcción y aplicación en diferentes áreas (teniendo en cuenta localidades remotas), con tamaños variables (pequeñas o extensas). Suele ser de poco mantenimiento y consumo energético, lo que reduce de forma significativa los costos. Sus resultados son eficientes y al llevarse a cabo bajo el marco del desarrollo sostenible, es amigable con el ambiente pues no genera emisiones y se adapta fácilmente al contaminante (Gonzales, 2010).

Desventajas: Solo puede remover la fracción del contaminante que se encuentre disponible para la planta. Así mismo, dependiendo el tipo de contaminante y su nivel de toxicidad se identifica una limitación en la capacidad fitorremediadora de las plantas, pues puede llegar afectar los procesos fisiológicos de la misma, al estar presente en concentraciones elevadas (Gonzales, 2010).

Finalmente el tiempo en el que se lleva a cabo la fitorremediación puede variar de días, meses hasta años, dependiendo de la biología y el proceso que emplea la planta para extraer los contaminantes (Gonzales, 2010).

Procesos para la fitorremediación:

La fitorremediación puede ser desarrollada bajo tres metodologías diferentes.

In situ: Se basa en la implementación de plantas, ubicadas directamente en el área donde se encuentra el contaminante. Durante su desarrollo es importante garantizar que la planta quede expuesta o en contacto con la sustancia y/o compuesto que se desea remover (Gonzales, 2010 y Chávez et al., 2015).

Ex situ: Mediante esta metodología, el contaminante es trasladado hasta el punto de tratamiento previamente establecido. Una vez se ha desarrollado el proceso de fitorremediación y su carga contaminante se ha reducido es devuelto al área de donde fue extraído. Este procedimiento involucra un incremento de costos durante la operación (Gonzales, 2010 y Chávez et al., 2015).

In vitro: Durante este modelo no se emplea la planta para llevar a cabo el proceso de fitorremediación. En su lugar se aíslan y utilizan elementos particulares adicionados en un área de tratamiento previamente establecida, donde se encuentra el contaminante a remover (Gonzales, 2010 y Chávez et al., 2015).

Así mismo, existen varios procesos empleados por las plantas para llevar a cabo la fitorremediación, expuestos a continuación mediante la tabla 1:

FITORREMEDIACIÓN: MEJORAMIENTO DE CALIDAD HÍDRICA

Tabla 1:

Procesos de fitorremediación.

PROCESO	DESCRIPCIÓN
Fitoestabilización	Este proceso es comúnmente empleado para estabilizar suelos y evitar la infiltración del agua que presente algún contaminante. Pues se reduce su movilidad al adsorberlo en el suelo y acumularlo en las raíces de las plantas.
Fitoextracción	El contaminante es extraído mediante acumulación en altas concentraciones, en los tejidos de la planta. Este proceso tiene como ventaja que el reciclaje de la sustancia o compuesto extraído.
Fitovolatilización	Durante este proceso el contaminante es convertido en compuestos volátiles y posteriormente liberado a la atmosfera por las estomas de la planta, debido a reacciones enzimáticas. Puede verse influenciado por factores ambientales como la húmedas, temperatura y velocidad del viento.
Fitodegradación	Mediante este proceso el contaminante es degradado al ser incorporado en los tejidos de la planta y ser empleado como nutriente. Esto se lleva a cabo gracias al mecanismo enzimático y fisiológico de la vegetación empleada. El resultado de esta fitorremediación, comúnmente permite obtener compuestos con menor grado de toxicidad.
Rizodegradación	El contaminante es degradado mediante el aporte de enzimas,

exudados o actividad microbiana, que se alimenta de estos productos ubicados en la rizósfera. De igual modo la planta tiene la capacidad de brindar las condiciones óptimas para los microorganismos, con el objetivo de agilizar el proceso de degradación, mediante la liberación de oxígeno al medio cuando se presentan condiciones anaerobias.

**Filtración y
rizofiltración**

Para el desarrollo de este proceso se emplean plantas con capacidad de absorber, concentrar y en algunas ocasiones precipitar contaminantes presentes dentro de una solución acuosa. Dichas plantas se caracterizan por contar con raíces fibrosas, idóneas para desarrollar mayor capacidad de filtración.

Fuente: (Gonzales, 2010; Analya y Ramachadra, 2006 y Chávez et al., 2015).

Filtro verde

Es un sistema de fitodepuración, donde una serie de macrófitas enraizadas mediante mecanismos físico, químicos y biológicos realizan la limpieza progresiva de un caudal afluente, generalmente constituido por aguas residuales (Delgadillo-López et al., 2011).

Clasificación de filtros verdes

Los filtros verdes se clasifican de acuerdo a la forma de vida de las macrófitas seleccionadas, como se muestra a continuación:

FITORREMEDIACIÓN: MEJORAMIENTO DE CALIDAD HÍDRICA

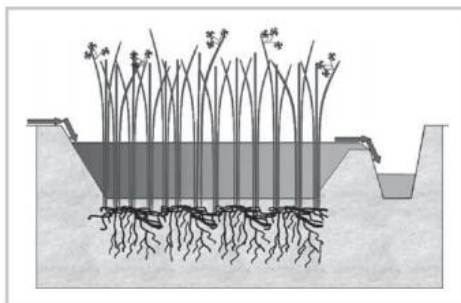
Sistema de tratamiento basado en hojas de plantas flotantes: Compuesto por macrófitas con órganos reproductores aéreos, presentes en suelos anegados. Como *Eichhornia crassipes* y *Lemna sp* (Delgadillo-López et al., 2011).

Sistema de tratamiento basado en macrófitas sumergidas: Compuesto por macrófitas con órganos reproductores aéreos, flotantes o sumergidos, que se ubican principalmente en la zona fótica del espado de agua. Comprende helechos, musgos y carófitas (Delgadillo-López et al., 2011).

Sistema de tratamiento basado en macrófitas enraizadas emergentes: Compuesto por plantas perennes con órganos reproductores aéreos, ubicadas en suelos permanente o temporalmente anegados (Delgadillo-López et al., 2011). Pueden ser clasificados de dos formas, de acuerdo al tipo de circulación de agua que emplee, así:

Filtros verdes de flujo superficial: Se caracteriza por contar con una circulación del agua a través de los tallos de las plantas, mientras está expuesta a la atmósfera. Cuentan con una menor profundidad (no mayor a 0,6 m) y gracias a la presencia de vegetación permite el albergue de especies de aves, peces y anfibios (imagen 2) (Delgadillo-López et al., 2011).

Imagen 2: filtro verde de flujo superficial.

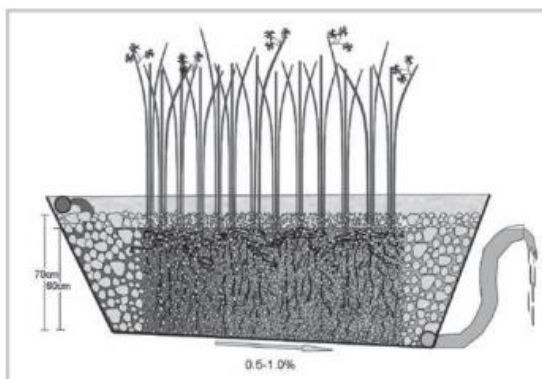


Fuente: (Delgadillo-López et al., 2011).

FITORREMEDIACIÓN: MEJORAMIENTO DE CALIDAD HÍDRICA

Filtro verde de flujo subsuperficial: En este tipo de filtro las macrófitas empleadas son soportadas en un medio granular, donde el agua fluye y tiene contacto únicamente con los rizomas y la raíz de las plantas. En él la profundidad es cercana a los 0,6 m (Imagen 3) (Delgadillo-López et al., 2011).

Imagen 3: Filtro verde de flujo subsuperficial



Fuente: (Delgadillo-López et al., 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calidad fisicoquímica del agua.

A través del desarrollo de muestreos en campo, realizados por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, la Secretaria Distrital de Ambiente y entes de educación superior, se caracterizan los siguientes parámetros fisicoquímicos dentro del espejo de agua del sector 1 del PEDH El Burro: Solidos Suspendidos (mg/L), Temperatura (°C), Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$), pH (unidades), Nitrógeno Total (mg N/L), Demanda Química de Oxígeno (DQO) (mgO_2/L),

FITORREMEDIACIÓN: MEJORAMIENTO DE CALIDAD HÍDRICA

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO_5) (mgO₂/L), Fosforo total (mg P/L), Oxígeno disuelto (OD) (mg/L) y Coliformes Totales (UFC/100 mL).

Mediante la tabla 2 se registran los valores obtenidos en los años 2008 y 2010, para cada uno de los parámetros.

Tabla 2:

Parámetros físicoquímicos sector 1 PEDH El Burro.

PARAMETRO	UNIDADES	VALOR PROMEDIO	
		2008	2010
Solidos suspendidos	mg/L	54	142
Temperatura	°C	17	18
Conductividad	μs/cm	139,5	466
pH	Unidades	6,5	7,6
Nitrógeno Kjeldahl	mg N/L	5	19,8
Total			
DQO	mgO ₂ /L	102	181
DBO5	mgO ₂ /L	95	52
Fosforo total	mg P/L	1,04	3,39
Oxígeno disuelto	mg/L	0,9	0,62
Coliformes totales	NMP/100 mL	9208	11903333

Fuente: (Instituto de Estudios Ambientales, 2008 y EAAB y SDA, 2011).

Si bien el humedal El Burro es reconocido como un cuerpo hídrico natural, desde 1998 se reporta la presencia de conexiones erradas en el caudal afluente al PEDH, capaces de cambiar la

FITORREMEDIACIÓN: MEJORAMIENTO DE CALIDAD HÍDRICA

calidad y uso del agua que ingresa al humedal debido a la alta carga contaminante que aportan este tipo de vertimientos (Instituto de Estudios Ambientales, 2008), por lo cual el análisis de los parámetros fisicoquímicos dentro del presente proyecto, toma como referente la Resolución 0631 de 2015, mediante la cual se establecen los parámetros y valores límites máximos permisibles para vertimientos puntuales en cuerpos de aguas superficiales.

De este modo se identifica que del año 2008 al 2010 se presentó una variación en la calidad fisicoquímica del agua en el sector 1 del humedal, capaz de contribuir al deterioro del ecosistema; pues al compararlo con la norma se identifica un incremento en los valores de la DQO que sobrepasan el límite permisible, evidenciando un aumento en la concentración de sustancias orgánicas que deben ser degradadas de forma química. Tal hecho se relaciona con la intensificación de los valores correspondientes al nitrógeno y fósforo total disponibles en el medio acuoso, debido al posible vertimiento de fertilizantes y detergentes en el caudal que ingresa al espejo de agua (Roldan, 2008 y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

El suceso anteriormente descrito, trae consigo implicaciones ecológicas relevantes, ya que permite la reducción en la concentración del oxígeno disuelto, debido a la demanda generada por parte de los microorganismos para la oxidación de dichos nutrientes, lo que conlleva a un detrimento de las comunidades acuáticas al generar condiciones de hipoxia en el medio. Por su parte el pH, pese a encontrarse dentro de los lineamientos que plantea la resolución, permite evidenciar un aumento en el potencial de hidrogeniones, producto del aporte de dióxido de carbono generado durante el proceso respiratorio de los microorganismos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015). Así mismos, mediante el análisis de los coliformes fecales durante los dos años (2008-2010), es posible comprobar la presencia de

FITORREMEDIACIÓN: MEJORAMIENTO DE CALIDAD HÍDRICA

vertimientos ilegales de aguas residuales domésticas, pues reflejan una alta concentración de microorganismos patógenos, indicadores de contaminación fecal (Larrea-Murrell et al., 2012).

Hecho que además de adicionar materia orgánica, intensifica la cantidad de sólidos suspendidos en el agua; los cuales junto con una velocidad promedio de 0,125 m/s permite la sedimentación de las partículas y ocasiona la reducción de la lámina de agua libre del humedal (Roldan, 2008).

En el caso de los registros de temperatura, corresponden al promedio bimodal característico de esta subcuenca hidrográfica (Instituto de Estudios Ambientales, 2008). Finalmente la conductividad, presenta un incremento elevado de un año a otro; sin embargo refleja un valor moderado de iones disueltos en el agua capaces de conducir la electricidad, de acuerdo al estándar que plantea Pinilla (2010).

Identificación de vegetación acuática.

En cuanto al conjunto de vegetación acuática, se identifica dentro del espejo de agua del sector 1 del humedal El Burro las siguientes macrófitas expuestas en la tabla 3, junto con sus características.

Tabla 3:

Vegetación acuática dentro del espejo de agua del PEDH El Burro

PLANTA	DESCRIPCION
<i>Schoenoplectus californicus</i>	Esta macrófita emergente cuenta con culmos lisos y trígonos con una
Nombre común:	altura oscilante entre 1-3 m, cuyo diámetro disminuye en cuanto se
Junco californiano	
Familia:	aproxima al ápice. Desarrolla rizomas sumergidos, con longitud
CYPERACEAE	
Orden: Poales	aproximada de 1 m. Las florescencias ramificadas que se originan al
Phylum:	
Magnoliophyta	final del tallo, presentan un color naranja-pardo y un diámetro

máximo de 21 cm. Habita en aguas poco salobres a frescas, en las costas, cursos de agua y estanques, localizados entre 0 y 3750 m.s.n.m, por lo que se adapta a climas cálidos y fríos. Puede crecer en espacios con profundidad mínima de 90 cm y en presencia de sedimentos. Se distribuye desde el suroeste de Estados Unidos hasta Argentina; dentro de los humedales de Bogotá es una macrófita dominante con comportamiento invasivo, debido a la contaminación hídrica, capaz de ocupar un área de invasión del 6,9 % para el humedal El Burro.

Typha spp
Nombre común:
 Enea o Espadilla
Familia:
 TYPHACEAE
Orden: Poales
Phylum:
 Magnoliophyta

Es una hierba gramínea emergente, con hojas lineales que presentan venación paralela y parénquima esponjosa, con un grosor entre 3 - 23 mm de acuerdo a la especie que se evalúe. La altura de su tallo esta entre 1,5 -3 m y su coloración varía de verde a verde-amarillo. Cuenta con inflorescencia en escapo, que cambia su color de acuerdo a su estado de maduración de verde a café. Se desarrollan principalmente en suelos de textura fina y en aguas ricas en materia orgánica, como estuarios, lagos, zonas ribereñas, cursos de agua y humedales, siempre y cuando se presente una profundidad mínima de 120 cm. En cuerpos de agua con poca profundidad y movimiento, la enea tiende a formar colonias que pueden llegar eliminar el espejo de agua, motivo por el que se le confiere un comportamiento invasivo en lugares como Colombia, Estados Unidos, Jamaica, México, Australia e India.

FITORREMEDIACIÓN: MEJORAMIENTO DE CALIDAD HÍDRICA

<i>Bidens laevis</i>	Es una hierba con comportamiento anual- perenne (puede vivir más
Nombre común:	
Botoncillo	de un año) de acuerdo a la ubicación geográfica donde se encuentre,
Familia:	
ASTERACEAE	habita desde 0 a 2800 m.s.n.m. Cuenta con un tallo de color rojizo y
Orden: Asterales	
Phylum:	crecimiento emergente, con altura máxima de 1m. Sus hojas son
Magnoliophyta	ovadolanceoladas, con inflorescencias en capitulo, con flores de
	membrana amarilla. Bajo la lámina de agua crece de manera
	enraizada. Los factores para su crecimiento son amplios, pues tiene
	la capacidad de adaptarse a suelos pantanosos (donde se presenten
	todo tipo de texturas) y un medio acuático moderadamente
	anaerobio y condiciones ambientales medianamente salinas, por lo
	que habita en charcas, humedales, quebradas, ciénagas y ríos
	existentes desde Estados Unidos hasta Argentina.
<i>Rumex spp.</i>	Esta hierba terrestre cuenta con un tallo rojizo, cuya altura varía
Nombre común:	
Lengua de vaca	entre 30 y 150 cm según la especie que se evalué. Sus hojas
Familia:	
POLYGONACEAE	presentan una forma oblonga-lanceolada, un ápice agudo, venación
Orden:	
Caryophyllales	con patrón vertical fusiforme y márgenes crespos-onduladas o
Phylum:	
Magnoliophyta	planas- débilmente onduladas. Presenta una serie de inflorescencias
	dispuestas en forma de espiga, recta y ocasionalmente curva, en las
	que se encuentran entre 10-25 brotes. Así mismo puede formar
	bancos de semillas, que permanecen fértiles por años. Habita desde
	los 0 a 3.500 m.s.n.m, adaptándose a varios tipos de suelo y
	condiciones en el agua, lo que le permite crecer en zonas anegadas,
	cunetas, orillas de cuerpos de agua, cultivos marginales y bordes de

bosques. Es reportada como planta nativa en Eurasia y el norte de África, sin embargo se extiende en diferentes ecosistemas en diversos continentes, en la mayoría de ellos reportados como planta invasora.

Fuente: (Díaz-Espinosa, Díaz-Triana y Vargas., 2012).

Con base a esta información, se plantea como alternativa para el mejoramiento de la calidad de agua en el sector 1 del PEDH El Burro, la elaboración de un filtro verde basado en macrófitas enraizadas emergentes, de flujo superficial compuesto de la siguiente forma:

Como primer componente del filtro verde se propone emplear un cinturón de aproximadamente 20m de largo x 6m de ancho de la especie *Bidens laevis*, esta decisión se fundamenta en tres razones. Inicialmente, esta macrófita se caracteriza por tener un crecimiento dominante que permite crear parches de vegetación herbácea de manera eficaz, gracias a su rápida adaptación en el medio (Schmidt-Mumm, 1998) por lo que puede ser extraída y reemplazada con facilidad una vez se evidencia un cambio en la coloración del tallo y las hojas, lo que indica la finalización del ciclo de vida de la planta por colmatación de nutrientes dentro de su estructura biológica. De igual modo, este cinturón de botoncillo permite la retención de RSO que pueden llegar al cuerpo de agua; una vez se identifique una colmatación en el área debido a la excesiva presencia de residuos, se garantiza una fácil depuración del medio. Finalmente, al ser categorizada como vegetación enraizada emergente, desarrolla una radícula dentro del espejo de agua de aproximadamente 1,5 m de longitud, por lo cual puede servir como retenedor del material suspendido aportado por el caudal afluente del canal Castilla; disminuyendo la cantidad de partículas sedimentables disponibles en el medio, capaces de reducir el área de lámina de agua libre.

FITORREMEDIACIÓN: MEJORAMIENTO DE CALIDAD HÍDRICA

El siguiente componente del filtro verde es la especie *Schoenoplectus californicus*, pues en la actualidad el espejo de agua cuenta con un parche de esta vegetación de 25 m de largo x 56 m de ancho. Por lo cual, a fin de no modificar esta estructura se pretende aprovechar la disponibilidad de esta macrófita emergente, que además tiene la capacidad de formar raíces con un diámetro aproximado de 2m, las cuales actúan como una esponja gracias a la presencia de pelos radicales que permiten la ágil adaptación al medio poroso e incrementa la capacidad de absorción de nutrientes (García, 2005). Así mismo, se ha identificado la presencia de comunidades fúngicas en la radícula de diversas especies de junco (donde se destaca el género *Aspergillus*), relevantes dentro del proceso de mejoramiento de la calidad de agua gracias a su capacidad saprofita, ya que mediante sus rutas metabólicas logran descomponer rápidamente la materia orgánica a sustancias orgánicas fácilmente aprovechables por la macrófita (Webster y Weber, 2007).

Otra etapa del filtro está conformada por un parche de *Typha spp* de aproximadamente 20 m de largo x 3,5 m de ancho, pues esta especie permite el almacenamiento en sus tejidos internos de la materia orgánica restante que se encuentra en el medio, mediante el aprovechamiento de los espacios vacíos con los que cuenta su parénquima. Es comúnmente empleada en filtros verdes, pues presenta una capacidad de filtración de 10% y 20% para aguas con exceso de nitrógeno y fosforo respectivamente (Caballero, 2017).

Finalmente, la especie *Rumex spp* es ubicada en los costados del filtro verde a fin de crear una barrera de 1,5 m entre la zona litoral y el espejo de agua, pues gracias a la actividad enzimática que presenta en su radícula cuenta con una alta competitividad que inhibe el crecimiento de las demás especies aledañas a la franja terrestre, como el pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), evitando su ingreso al espejo de agua y la terrificación de áreas por

FITORREMEDIACIÓN: MEJORAMIENTO DE CALIDAD HÍDRICA

exceso de adsorción de agua (Gómez et al., 2003). Además, esta planta tiene la capacidad de desarrollar extractos metanólicos en sus raíces con propiedades antimicrobianas contra *S. aureus*, *Streptococcus mutans*, *E.coli*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Candida albicans*, lo que permite combatir microorganismos patógenos, provenientes de aguas residuales (Soto et al., 2015).

CONCLUSIONES

El cuerpo de agua del sector 1 del PEDH El Burro presenta un estado hídrico crítico, pues al realizar una comparación con la normatividad vigente y la literatura relacionada con calidad de agua del territorio nacional, se apreció un exceso en la concentración de materia orgánica proveniente de las conexiones erradas afluentes al canal Castilla y los continuos vertimientos ilegales de residuos líquidos industriales, que realizan la comunidad y las empresas aledañas al PEDH.

Por lo cual, la ejecución de la presente alternativa que plantea la elaboración de un filtro verde de flujo superficial, basado en macrófitas enraizadas emergentes; es una forma eficaz, económica y sostenible para la recuperación de la calidad hídrica de este ecosistema. De acuerdo a la revisión bibliográfica ejecutada, la configuración de macrófitas propuesta permite la adecuada depuración del caudal afluente, pues emplea los procesos de fitoremediación con mayor eficiencia, como lo son la rizodegradación (desarrollada por las especies *Rumex spp.* y *Schoenoplectus californicus*) y la fitodegradación (empleada por las especies *Bidens laevis* y *Typha spp.*).

FITORREMEDIACIÓN: MEJORAMIENTO DE CALIDAD HÍDRICA

Se recomienda la supervisión continua de esta alternativa depuradora, a fin de garantizar una lámina de agua promedio de 0,6 m de profundidad. Así como también, para valorar el estado (cantidad de RSO y sedimentos retenidos en ellas y el ciclo de vida) de cada una de las macrófitas empleadas en las etapas fitorremediadoras que componen el filtro.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Caballero, E. (2017). *Universidad de Sevilla*. Obtenido de Eliminación de nutrientes mediante el uso de filtros verdes en el río Choluteca (Tegucicalpa): <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70960/fichero/MEMORIA+TFM+Elena+Caballero+Moreno.pdf>
- Chávez, A, C. M. (2015). *Avances en ciencias del agua*. Mexico : Cheikh Fall.
- Cortés, A. (2017). Aproximación al paisaje de los humedales urbanos de Bogotá dentro de la estructura ecológica principal de la ciudad. *Revista Colombiana de geografía*, 118-130.
- Cruz-Solano, D., & Motta-Morales, J. y.-U. (2017). *Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas*. Obtenido de Estimación de la pérdida de área en los humedales de Bogotá en las últimas cinco décadas debido a la construcción y sus respectivos efectos: <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/5345>
- DAMA. (2006). *Secretaria Distrital de Ambiente*. Obtenido de <http://ambientebogota.gov.co/politicas-de-humedales-del-distrito-capital>
- Delgadillo-López, A, G.-R. C.-G.-I.-S. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 597-612.
- Díaz-Espinosa A.M., D.-T. J. (2012). *Secretaria Distrital de Ambiente*. Obtenido de Catálogo de plantas invasoras de los humedales de Bogotá: <http://www.ambientebogota.gov.co/documents/10157/1763282/Cat%C3%A1logo+Plantas+Invasoras.pdf>
- EAAB y SDA. (2011). *Secretaria Distrital de Ambiente* . Obtenido de Catálogo de plantas invasoras de los humedales de Bogotá: <http://www.ambientebogota.gov.co/documents/10157/1763282/Cat%C3%A1logo+Plantas+Invasoras.pdf>

FITORREMEDIACIÓN: MEJORAMIENTO DE CALIDAD HÍDRICA

- García, T. (2005). *Universidad de los Andes*. Obtenido de Diseño, construcción y evaluación preliminar de un humedal de flujo superficial: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/8894/u263497.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gómez, C. A. P. (2003). *Agrosavia*. Obtenido de Algunos estudios de alelopatía de *Rumex crispus* L. y *Polygonum segetum* H.B.K., en Colombia: <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/16573>
- Gonzales, J. (2010). *Universidad de los Andes*. Obtenido de Fitorremediación: Una herramienta viable para la descontaminación de aguas y suelos: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/19276/u445054.pdf?sequence=1>
- Gullot, G. y. (2017). *Estudio ecologico en humedales de Bogota. Aplicaciones para su evaluación, seguimiento y manejo*. Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia (Sede Bogotá).
- Herrera, Y. D. (2004). *Política de humedales del Distrito*. Bogotá: Reserachgate.
- Instituto de Estudios Ambientales. (2008). *Secretaria Distrital de Ambiente*. Obtenido de Plan de Manejo Ambiental Humedal El Burro: <http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/75fa09ff-a9a6-47c0-aa75-1151fbd547b4>
- Instituto de Estudios Ambientales. (2008). *Secretaria Distrital de Ambiente*. Obtenido de Plan de Manejo Ambiental: Caracterización diagnóstica: <https://www.slideshare.net/san-shippo/humedal-el-burro>
- Larrea-Murrell, J, R.-B. M.-Á.-H.-P. (2012). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de. *CENIC. Ciencias Biológicas*, 24-34.
- Ministerio de AMbiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Ministerio de AMbiente y Desarrollo Sostenible*. Obtenido de Resolución 0631 de 2015: https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). *Gestor normativo*. Obtenido de Decreto 1468 de 2018: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=87903>
- Pinilla, G. (2010). An index of limnological conditions for urban wetland of Bogotá. Colombia. *SciencieDirect*, 848-856.
- Ramsar. (2004). *Wise use of wetlalnds: Concepts and approaches for the wise use of wetlands*. Gland, Suiza: Ramsar.

FITORREMEDIACIÓN: MEJORAMIENTO DE CALIDAD HÍDRICA

- Ramsar, S. d. (2013). *Manual de la Convención Ramsar: Guía a la Convención sobre los HUmedales*. Irán: Ramsar.
- Ricaurte, L., Núñez-Avellaneda, M., Pinilla, M., Marín, C., Velásquez-Valencia, A., Alonso, J. C., . . . Argüelles, J. H. (2015). *Inventario y tipificación de humedales en la cuenca del río Orteguaza, Departamento del Caquetá, Amazonia Colombiana*. Bogota, Colombia: Instituto Amazonico de investigaciones Sinchi.
- Roldan, G. y. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Medellin, Colombia: Universidad Nacional de Colombia .
- Santiago, H. (2012). Importancia histórica y cultural de los humedales del borde norte de Bogotá (Colombia). *SiCielo*, 167-180.
- Schmidt-Mumm, U. (1998). *Vegetación acuática y alustre de la sabana de Bogotá y plano del río Ubaté: Ecología y Taxonomía de la flora acuática y semiacuática*. Bogota: Universidad Nacional de Colombia.
- Soto, M. V. (2015). Metabolitos secundarios y actividad antibacteriana in vitro del extracto etanólico de la raíz de *Rumex crispus* L. *QuimicaViva*, 63-70.
- T, A. N. (2006). Phytoremediation: processes and mechanisms. *Ecobiol*, 33-39.
- Torres. C, R. J. (2007). *Pobreza urbana y mejoramiento integral de barrios : habitat y vivienda*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia .
- Webster, R. y. (2007). *Introduction to Fungi*. New York: Cambridge Universityress.